



Tytus Karlikowski*, Tomasz Zawila-Niedźwiecki**

Teledetekcja i systemy informacji przestrzennej w przeciwpożarowej ochronie lasu

Remote sensing and spatial information systems in forest fire management

Since several years number of fires in Polish forests has increased. It is suggested that at some regions in Poland new category of forest fire risk is manifested. It results from simultaneous existance of at least three unfavorable phenomena: long-term drought, effects of air pollution (decline and decay of trees, formation of loose forest canopy, lush growth of grasses, resulting in large amount of inflammable material) and high tourist traffic in forests.

In this situation forestry starts to apply new techniques and technologies for forest protection, e.g. remote sensing and GIS which can be considered within four aspects:

- fire risk prediction for particular regions and whole country,
- fire monitoring,

— inventory of fire damage to forests and assessment of losses,

— monitoring of regenerations and afforestations.

Several techniques have been used in these activities: aerial photographs, SPOT, LANDSAT and NOAA satellite imagery, as well as recently ERS-1 data. Comprehensive works on creating descriptive and spatial data bases, which enable forest fires inventory and assessment of losses, as well as monitoring of forest regeneration, have been carried out.

This paper is enlarged version of a presentation prepared for the International Workshop on "Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management" held in Thessaloniki, Greece, 4-6 November 1993.

W polskiej gospodarce leśnej w zależności od piętra lasu objętego pożarem wyróżnia się: pożary podpowierzchniowe (torfowo-murszowe), pożary pokrywy gleby, pożary całych drzewostanów oraz pożary pojedynczych drzew. Najczęściej występują pożary pokrywy glebowej. Stanowią one 75% wszystkich występujących w Polsce pożarów lasów. Pod względem powierzchni, najczęstsze są pożary obejmujące powierzchnię poniżej 1 ha. Jednak w ostatnich latach rysuje się wyraźna tendencja wzrostu liczby dużych pożarów lasu. W roku 1992 zarejestrowano w Polsce 9305 pożarów lasu. Było ich trzy razy

więcej niż w latach poprzednich. Objęły one powierzchnię około 37 000 ha, to jest dwanaście razy więcej niż w roku 1991.

Głównym czynnikiem powodującym tak dużą liczbę pożarów była długo utrzymująca się bezdeszczowa pogoda i wysokie temperatury powietrza. Panuje przekonanie, że na wielu obszarach naszego kraju tworzy się nowa kategoria zagrożenia pożarowego, będąca wynikiem jednoczesnego występowania co najmniej trzech powiązanych ze sobą zjawisk. Są to długotrwałe susze, wzrastający ruch turystyczny oraz zanieczyszczenie po-

* Prof. dr hab. inż. Tytus Karlikowski, Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Przeciwpożarowej Ochrony Lasu, ul. Bitwy Warszawskiej 1920 roku 3, 00-973 Warszawa. Tel./Fax: (48 22) 46 20 18.

** Dr inż. Tomasz Zawila-Niedźwiecki, Instytut Geodezji i Kartografii, Ośrodek Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLIS, ul. Jasna 2/4, 00-950 Warszawa. Tel.: (48 22) 26 42 21 w. 428, Fax: (48 22) 27 03 28.

wietrza. To ostatnie powoduje osłabienie i zamieranie drzew, przerzedzenie drzewostanów, bujny wzrost traw dający dużą ilość łatwopalnego materiału.

W sytuacji wzrostu zagrożenia pożarowego polskich lasów oraz wzrostu liczby dużych pożarów obejmujących wielohektarowe powierzchnie, koniecznym staje się sięganie po nowe techniki i technologie, które mogłyby wspierać działalność służb przeciwpożarowych leśnictwa. Takimi narzędziami mogą być teledetekcja i systemy informacji przestrzennej (SIP). Ich zastosowanie w warunkach polskich może być rozpatrywane w czterech aspektach:

- określanie zagrożenia pożarowego w skali kraju oraz poszczególnych regionów;
- śledzenie rozwoju i przebiegu pożarów;
- inwentaryzacja pożarzystk i ocena strat;
- monitorowanie następstw pożarów.

Zdalne wykrywanie i śledzenie pożarów jest możliwe dzięki promieniowaniu emitowanemu przez obiekty z intensywnością zależną od ich temperatury. Krzywe spektralne rozkładu promieniowania ciała czarnego obrazują zmienność jego emisji w zależności od temperatury. Maksimum promieniowania obiektu o temperaturze 25°C przypada na zakres fal elektromagnetycznych o długości 10 μm i wraz ze wzrostem temperatury maksimum to przesuwa się ku krótszym długościom fal promieniowania elektromagnetycznego. Emisja ognia charakteryzuje się rozkładem promieniowania zbliżonym do rozkładu promieniowania ciała czarnego o temperaturze 500°C. E.C. Arcybaszew (1983) i G. Calabri (1984) utrzymują, że temperatura płomieni wynosi od 275°C do 420°C, a w badaniach Zakładu Przeciwpożarowej Ochrony Lasu, Instytutu Badawczego Leśnictwa w Warszawie, za średnią temperaturę płomieni przyjmuje się 900°C (Karlikowski 1992). Porównanie tych danych z rozkładem promieniowania ciała czarnego w różnych temperaturach pozwala wnioskować, że do wykrywania ognisk pożarów przydatny jest zakres podczerwieni od 1,8 do 14,0 μm . W tym przedziale promieniowania elektromagnetycznego występuje dosyć silne pochłanianie fal, przez znajdujące się w atmosferze: ozon, dwutlenek węgla i parę wodną. Jedynie promieniowanie o długościach fal 1,8-5,3 μm oraz 7-14 μm przechodzi przez warstwę atmosfery bez większych przeszkód. Są to tak zwane "okna atmosferyczne".

Szczególnie istotny, z punktu widzenia analiz pożarowych, jest przedział 3-5 μm w zakresie podczerwieni średniej, w którym występuje maksimum emisji dla temperatury ognia. Mieści się on w trzecim oknie atmosferycznym, a ponadto notuje się w nim niską radiację słoneczną i ziemską. Dzięki temu jest on stosunkowo słabo zakłócany sygnałami pochodzącymi z innych źródeł jak ma to miejsce w zakresie 2,2-2,5 μm , w którym występuje silny sygnał emitowany przez ogień, jednakże zakłócenia transmisji ograniczają użyteczność tego przedziału promieniowania elektromagnetycznego w wykrywaniu pożarów.

Źródło ognia wykazuje także istotne promieniowanie w przedziale podczerwieni termalnej 8-12 μm , a szeroko-

kie okno atmosferyczne od 7-14 μm zapewnia większą transmisję energii o tej długości fal niż w zakresie podczerwieni średniej.

Te prawidłowości emisji promieniowania elektromagnetycznego przez źródła ognia są podstawą wykorzystania teledetekcji w przeciwpożarowej ochronie lasów. Stosuje się w niej zarówno dane lotnicze jak i satelitarne.

Na wielkich obszarach leśnych, nieznacznie penetrowanych przez ludzi, do wykrywania pożarów mogą być stosowane zdjęcia satelitarne. Do tego celu wykorzystuje się nawet geostacjonarne satelity meteorologiczne systemu GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), a także Meleosata Europejskiej Agencji Kosmicznej. Obrazy z Meleosata, wykonywane w zakresach: 0,4 - 1,1 μm , 5,7-7,1 μm i 10,5-12,5 μm , są przesyłane na Ziemię co 30 minut, a ich rozdzielczość terenowa wynosi 2,4 km w zakresie widzialnym oraz 5 km w podczerwieni.

Jak wynika z powyższych charakterystyk obrazy rejestrowane przez satelity geostacjonarne cechuje wysoka rozdzielczość czasowa oraz niska rozdzielczość terenowa. Pozwalają one na wykonywanie opracowań o dużym stopniu generalizacji przestrzennej. Ich użyteczność w działalności przeciwpożarowej w warunkach europejskich jest raczej niska. Na niższych orbitach, rzędu 700-800 km, umieszczane są satelity meteorologiczne dostarczające informacji o większej szczegółowości przestrzennej takie jak NOAA oraz satelity śródowiskowe takie jak LANDSAT i SPOT.

Każdy z eksploatowanych obecnie amerykańskich satelitów serii NOAA umieszczonych na orbitach okołobiegunowych, dostarcza zdjęć tego samego obszaru na powierzchni Ziemi co 12 godzin. Usytuowanie ich na różnych orbitach umożliwia codzienną obserwację wybranego obszaru co kilka godzin. Na satelitach NOAA zainstalowany jest skaner AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) rejestrujący obrazy o rozdzielczości terenowej 1,1 km, w pięciu zakresach spektralnych. Do wykrywania pożarów przydatne są trzy zakresy: 3,55-3,93 μm , 10,3-11,3 μm i 11,5-12,5 μm .

Jeden piksel obrazu z satelity NOAA odpowiada powierzchni 121 ha, w punkcie podsatelitarnym. Praktyka wykazała jednak, że skaner AVHRR może rejestrować pożar o powierzchni około 1 ha, a więc o powierzchni ponad stukrotnie mniejszej niż wielkość jednego piksela. Wynika to z dużego natężenia promieniowania emitowanego przez pożar, które dominuje odpowiedź spektralną z całego piksela. Satelita ten jest więc w stanie wykryć źródło ognia, lecz na podstawie obrazu nie zawsze można szacować wielkości pożaru (Ciołkosz, Kęsik 1989). Na ryc. 1 przedstawiono przykład obrazu pożaru lasu zarejestrowany przez AVHRR NOAA, który miał miejsce 10.08.1992 roku koło Częstochowy.

Z powodu niewielkiej rozdzielczości terenowej wyżej wymienionych obrazów satelitarnych, w warunkach polskich charakteryzujących się rozproszaniem kompleksów leśnych, znacznym zurbanizowaniem i uprzemysłowieniem są one nieprzydatne do bezpośredniego

wykrywania ognia. Natomiast rozdzielczość terenowa zdjęć wykonywanych przez satelity środowiskowe przemawia za wykorzystaniem tych obrazów w działalności przeciwpożarowej. Spośród wymienionych tu satelitów jedynie amerykański LANDSAT, na którym zainstalowano skaner TM (*Thematic Mapper*) rejestruje zakresy średniej podczerwieni (1,55-1,75 μm i 2,08-2,35 μm), z rozdzielczością 30 m oraz podczerwień termalną (10,4-12,5 μm), z rozdzielczością 120 m.

O ile do wykrywania ognia korzystna jest rejestracja zakresu podczerwieni, to dymy pożarów lasu można dostrzec na zdjęciach wykonywanych w zakresie panchromatycznym oraz w zakresie podczerwieni fotograficznej (0,5-1,1 μm). Mogą do tego celu służyć obrazy z wymienionych już satelitów Meteorol i NOAA. Jednak zastosowanie zdjęć wykonywanych przez satelity LANDSAT (TM) o rozdzielczości terenowej wynoszącej 30 m i obrazów z francuskiego SPOT-a o rozdzielczości 10 i 20 m, kilkukrotnie zwiększa dokładność otrzymanych informacji.

Ze względu na wysoką rozdzielczość terenową, zdjęcia wykonywane przez satelity LANDSAT (TM) i SPOT są również najlepsze do inwentaryzacji pożarzystk. Do celów tych należy szczególnie zalecić stosowanie zdjęć panchromatycznych ze SPOT-a, a to ze względu na ich wysoką rozdzielczość terenową, wynoszącą 10 m. Kryterium wysokiej rozdzielczości terenowej spełniają także zdjęcia wykonywane przez rosyjskie satelity serii KOSMOS. Dostarczają one obrazów panchromatycznych oraz spektrostrefowych i umożliwiają rozróżnienie na powierzchni Ziemi obiektów o wymiarach wynoszących zaledwie 2 m. Niestety nie są one rozpowszechniane w sposób operacyjny, jak ma to miejsce w przypadku danych pochodzących z systemów GOES, NOAA, LANDSAT i SPOT. Niemniej jednak, należy mieć świadomość ich użyteczności i wysokiej precyzji, przewyższającej dokładność danych cyfrowych dostarczanych przez inne systemy.

W średnich szerokościach geograficznych pozyskiwanie zdjęć satelitarnych wykonywanych w zakresach optycznych napotyka przeszkody w postaci chmur zasłaniających powierzchnię Ziemi. Dlatego też od kilku lat trwają prace nad wykorzystaniem dla potrzeb teledetekcji zakresów mikrofalowych o długości fal od 8 do 300 mm. Urządzenia radarowe pracujące w tych zakresach pozwalają pozyskiwać obrazy bez względu na warunki pogodowe. W latach 1990-1992 funkcjonował rosyjski satelita radarowy ALMAZ 1. Obecnie eksploatowane są dwa satelity wyposażone w urządzenia radarowe: ERS-1, skonstruowany przez Europejską Agencję Kosmiczną oraz satelita japoński JERS-1. W ostatniej fazie przygotowani znajduje się cała seria satelitów z urządzeniami mikrofalowymi, takich jak kanadyjski RADARSAT, kolejny satelita europejski ERS-2 oraz rosyjski ALMAZ 1B.

Elementem ograniczającym użyteczność materiałów pozyskiwanych przez satelity LANDSAT, SPOT, ERS-1, JERS-1 jest kilkunastodniowy okres powtarzalności określonej orbity. Nawet przy możliwości rejestracji przez satelity serii SPOT wybranej sceny z kilku orbit, daje to

zaledwie kilkanaście zdjęć danego obszaru podczas trwającego kilka miesięcy zagrożenia pożarowego.

Badania nad zastosowaniem teledetekcji w przeciwpożarowej ochronie lasu są w Polsce dosyć trudne, co wynika z przestrzennej dystrybucji lasów oraz ich struktury. Ponadto, większość z kilku tysięcy notowanych w Polsce corocznie pożarów dotyczy pokrywy gleby i nie osiąga powierzchni 1 ha, przy średniej 1,5 ha. Jest to wynikiem przyjętej w Polsce koncepcji zwalczania pożarów, wynikającej z tezy, że jedynie pożary lasu poniżej 10 ha są możliwe do opanowania. Aby więc nie dopuścić do nadmiernego rozprzestrzeniania się ognia, w okresie palności drzewostanów stosuje się ciągle, naziemne i lotnicze obserwacje obszarów leśnych. Ponadto samoloty i helikoptery obserwacyjne są odpowiednio wyposażone, aby natychmiast po zauważeniu ognia zaalarmować jednostki naziemne oraz przystąpić do akcji gaśniczej.

Ze względu na wielkość przeciętnego pożaru lasu w Polsce trudno byłoby je wykrywać na zdjęciach satelitarnych. Także termalna teledetekcja lotnicza nie znajduje tutaj większego zastosowania, gdyż rozbudowana sieć osadnicza w polskich lasach, ich rozdrobnienie oraz duża penetracja lasów przez ludzi utrudnia zorganizowanie zautomatyzowanego nadzoru z powietrza. Istnieje jednak szereg teledetekcyjnych metod stosowanych w przeciwpożarowej ochronie lasu, które zostały sprawdzone w naszych warunkach.

W roku 1982, po pożarze w nadleśnictwie Lubsko (OZLP w Zielonej Górze) obejmującym 1200 ha, Zakład Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa korzystał z panchromatycznych zdjęć lotniczych do określania zasięgu i rozmiaru pożaru, ponadto w pracach Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLIS, Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie stosowano technikę lotniczych zdjęć termalnych do wykrywania pożarów podziemnych. Termogramy wykonane skanerem AGA Thermoprofile THP-1 oraz barwne termogramy ekwitonalne sporządzone na przegładarce elektroniczno-analogowej, pozwalały na określenie rozkładu przestrzennego temperatury gruntu, a co za tym idzie zlokalizowanie pożaru. OPOLIS posiada także doświadczenia w stosowaniu spektrostrefowych zdjęć lotniczych do szacowania kondycji lasu, co ma znaczenie w ocenie drzewostanów uszkodzonych przez pożar pokrywy gleby, który uszkadzając kambium powoduje osłabienie i powolne zamieranie drzew.

Od kilku lat trwają także prace nad wykorzystaniem zdjęć satelitarnych. W 1992 roku, podczas największego z dotychczas zanotowanych w Polsce pożarów, jaki objął ponad 9000 ha lasów na Górnym Śląsku koło Kuźni Raciborskiej, na zdjęciach satelitarnych można było zaobserwować smugi dymów oraz powiększanie się obszaru spalonego lasu.

O niespotykanej dotąd w warunkach polskich, dynamice rozprzestrzeniania się tego pożaru, który wybuchł 26 sierpnia o godzinie 14.00, może świadczyć przyrost jego powierzchni (tab. 1):

Tabela 1

Dynamika pożaru kompleksu leśnego koło Kuźni Raciborskiej
Dynamic of Kuźnia Raciborska forest fire

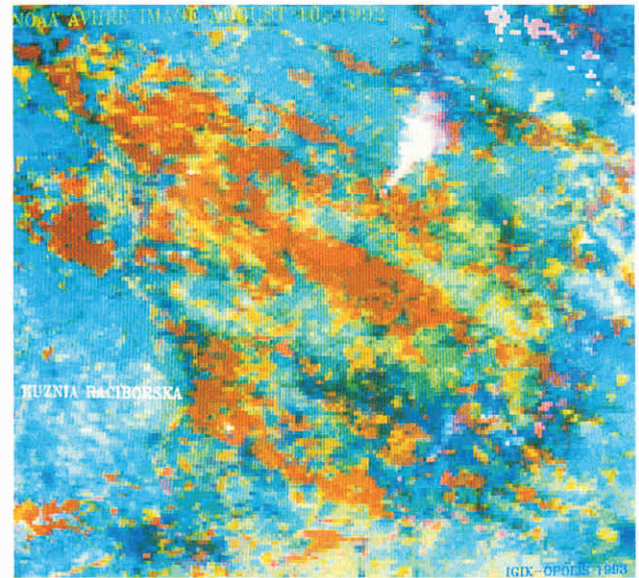
Dzień <i>Date</i>	Godzina <i>Hour</i>	Powierzchnia <i>Area (ha)</i>
26.08.1992	18 ⁰⁰	600
26.08.1992	22 ⁰⁰	2200
27.08.1992	1 ⁰⁰	3500
27.08.1992	9 ⁰⁰	5500
27.08.1992	19 ⁰⁰	5700
28.08.1992	8 ⁰⁰	6000
30.08.1992	18 ⁰⁰	8500

Rozmiar tego pożaru był tak duży, że nawet na zdjęciach AVHRR z NOAA widoczny był powiększający się obszar pogorzeliska oraz dymy, które można było obserwować na przestrzeni ponad 100 km. Zdjęcia ze SPOT-a: XP i XS, pozyskane we wrześniu 1992 roku i maju 1993 roku (ryc. 2) oraz zdjęcia z ERS-1, pozyskane w lipcu 1993 roku, doskonale pokazują zasięg pożaru.

W przypadku pożarzyska koło Kuźni Raciborskiej zdjęcia wykonane przez satelitę ERS-1 umożliwiły określenie zasięgu pogorzeliska z taką samą dokładnością z jaką określono jego zasięg na podstawie zdjęć XS ze SPOT-a (Zawila-Niedźwiecki i in. 1994). Jednakże na zdjęciu wykonanym przez satelitę SPOT łatwiej jest wydzielić niewielkie kępy drzew, które ocalały z pożaru, a to dzięki wysokiemu odbiciu promieniowania elektromagnetycznego w zakresie bliskiej podczerwieni, od ocalałych drzew z nieuszkodzonym aparatem asymilacyjnym. Plamistość zdjęć mikrofalowych powoduje, że wyróżnienie tych kęp na zdjęciach wykonanych przez satelitę ERS-1 jest dość trudna.

Na zdjęciach satelitarnych wyraźnie widoczne jest miejsce rozpoczęcia się pożaru zlokalizowane w południowo-zachodniej części kompleksu leśnego, przy linii kolejowej Dziergowice — Kuźnia Raciborska. Pogorzelsko składa się z dwóch części: „północnej” i „południowej”, rozdzielonych linią kolejową Kędzierzyn Koźle — Knurów i szosą Kędzierzyn Koźle — Gliwice, a od zachodu ograniczone kopalnią piasku podsadzłkowego. Przerzut ognia z części południowej na północną nastąpił w okolicy miejscowości Kotłarnia, gdzie oba spalone kompleksy leśne były połączone przesmykiem lasu o szerokości około 1 km. Na podstawie zdjęcia satelitarnego można było ocenić, że największy zasięg pożarzyska wynosi: w części południowej — 7700 m z północy na południe i 10700 m ze wschodu na zachód, a w części północnej, odpowiednio 10500 m i 7500 m (Zawila-Niedźwiecki i in. 1994).

Według szacunków terenowych powierzchnia spalonego lasu wynosi 9060 ha (Karlikowski 1992), a według analizy wykonanej na podstawie zdjęć z ERS-1 i SPOT-a, pogorzelsko zajmuje powierzchnię 8000 ha. Błąd w ocenie powierzchni rzędu 10% wynika częściowo z generalizacji zdjęć będącej efektem ich rozdzielczości przestrzennej. Nie można również wykluczyć zawyżenia szacunków terenowych. Na wielkość błędów mają wpływ przede wszystkim nieregularności kształtu pogorzeliska. Także niewielkie kępy zachowanych drzewostanów

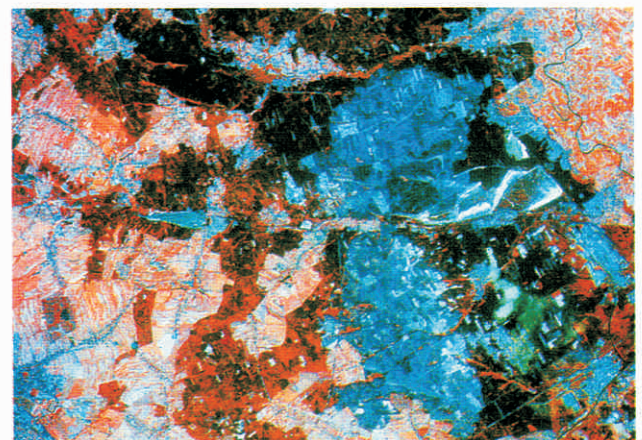


Ryc. 1. Pożar lasu w Nadleśnictwie Herby koło Częstochowy. Zdjęcie wykonane z satelity NOAA w dniu 10 sierpnia 1992 roku

Fig. 1. Forest fire in Herby Forest District seen on NOAA image taken on August 10, 1992

oraz postrzępiona granica między pogorzelskiem a „żywym” lasem mogą powodować błędy w ocenie rozmiarów spalonej powierzchni, z powodu uśredniania wartości spektralnej pikseli, o zróżnicowanych wewnątrz pikseli odpowiedziach spektralnych — tzw „mikseli”, które agregując odpowiedzi spektralne zoślinności żywej i fragmentów spalonych, powodują niedoszacowanie spalonej powierzchni. Podobne wyniki pomiaru pogorzeliska, wykonane na zdjęciach z ERS-1 i SPOT-a sugerują, że szacunki terenowe zawyżały powierzchnię spalonego lasu.

Kolejnym zastosowaniem teledetekcji w ochronie przeciwpożarowej jest prognozowanie zagrożenia pożarowego lasu. Obecnie w polskich lasach zagrożenie to jest określane codziennie w okresie palności trwającym na ogół 200-240 dni w roku. Dokonuje się tego na



Ryc. 2. Pogorzelsko koło Kuźni Raciborskiej. Zdjęcie wykonane ze SPOT-a w maju 1993 roku

Fig. 2. Kuźnia Raciborska burned forest seen on SPOT image taken in May 1993

podstawie pomiarów wilgotności ściółki, na obszarze stałych stacji terenowych, według metody opracowanej przez IBL w Warszawie (Karlíkowski 1981).

Nowe badania wykazały, że istnieje związek pomiędzy wilgotnością gleby oraz stanem roślinności a ewapotranspiracją określaną na podstawie danych z NOAA (Dąbrowska-Zielińska 1987, Dąbrowska-Zielińska i in. 1991). W wyniku tych badań postanowiono przetestować możliwość zastosowania zdjęć z AVHRR do określania zagrożenia pożarowego w naszych lasach. Rozdzielczość czasowa pozyskiwanych zdjęć oraz łatwość ich odbioru w czasie rzeczywistym stanowią ogromny atut obrazów wykonywanych przez satelity serii NOAA.

Skaner AVHRR wraz z systemem wysokorozdzielczej transmisji obrazów HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) wykazuje szereg zalet umożliwiających jego operacyjne wykorzystanie. Przede wszystkim rejestruje on szeroki zakres spektrum, a wysoka rozdzielczość czasowa pozwala pozyskiwać kilka zdjęć w ciągu doby. Duże pole widzenia skanera AVHRR umożliwia synoptyczne spojrzenie na teren całego kraju, a rozdzielczość terenowa rzędu 1,1 km powoduje uśrednienie odpowiedzi spektralnej, co pozwala na uniknięcie zakłóceń powodowanych przez lokalne zmiany w odbiciu i emisji promieniowania elektromagnetycznego od obiektów na powierzchni Ziemi. Dlatego też nową koncepcję oceny zagrożenia pożarowego oparto o założenie, że wskaźniki otrzymane ze zdjęć AVHRR mogą odzwierciedlać parametry, które determinują podatność lasu na ogień.

Prowadzone obecnie badania koncentrują się na wykorzystaniu obrazów z NOAA do obliczania temperatury radiacyjnej drzewostanów, ich ewapotranspiracji oraz wskaźnika roślinności. Opisują one zmiany w charakterystykach spektralnych lasu. Próbuje się również ocenić relacje pomiędzy tymi parametrami, a parametrami terenowymi, charakteryzującymi palność drzewostanów (Dąbrowska-Zielińska i in., 1993).

Pożary lasu powstają wskutek zbiegu wielu czynników i mają różnorodne implikacje. Dlatego też od kilku lat prowadzone są prace nad modelowaniem zagrożenia pożarowego, jego powstawania, rozwoju i następstw. Wielką pomocą w tworzeniu modeli są systemy informacji przestrzennej umożliwiające analizę różnorodnych danych mających wpływ na zagrożenie pożarowe i jego konsekwencje. Najważniejszymi elementami takich modeli są dane odnośnie rodzaju drzewostanów i składu różnych pięter lasu, archiwalne dane o pożarach, informacje topograficzne, ukształtowanie terenu oraz dane o warunkach klimatycznych. Te ostatnie są jednymi z najważniejszych danych wchodzących do modelu.

W przypadku systemu informacyjnego o pożarach lasów w Polsce, budowany jest on w oparciu o bazę danych dotyczących zaistniałych już pożarów (Karlíkowski i in., 1993). Ta baza danych gromadzi 32 rodzaje informacji o warunkach przyrodniczo-leśnych spalonych drzewostanów, warunkach meteorologicznych podczas zaistnienia i trwania pożaru, rodzaju i wielkości spalonej powierzchni, a także charakterystykach pożaru i akcji gaśniczej. Dane te służą analizie podatności drzewo-

stanów na pożary oraz przyczyn ich powstawania w zależności od warunków naturalnych. Informacje te zestawione z mapami leśnymi, których część została już wprowadzona do obiektywnej bazy danych są zaczątkiem SIP dla celów przeciwpożarowych.

Tabela 2

Struktura powierzchniowa pogorzeliska kompleksu leśnego koło Kuźni Raciborskiej, według klas wieku drzewostanów
Age classes of Kuźnia Raciborska burned forest

Klasa wieku <i>Age class</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	
	(ha)	(%)
I	1254	14,0
II	1672	18,5
III	1706	19,0
IV	1676	18,5
V	2394	26,0
Zręby i halizny <i>Clear cuts & openings</i>	358	4,0

Tabela 3

Struktura powierzchniowa pogorzeliska kompleksu leśnego koło Kuźni Raciborskiej, według zwarcia drzewostanów
Classes of canopy closure of Kuźnia Raciborska burned forest

Zwarcie drzewostanu <i>Degree of forest canopy closure</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	
	(ha)	(%)
Pełne <i>Full</i>	634,2	7,0
Umiarkowane <i>Moderate</i>	2718,0	30,0
Przerywane <i>Thinned</i>	4349,0	48,0
Luźne <i>Loose</i>	543,6	6,0

Tabela 4

Struktura powierzchniowa pogorzeliska kompleksu leśnego koło Kuźni Raciborskiej, według zadrzewienia
Degrees of crop density of Kuźnia Raciborska burned forest

Zadrzewienie <i>Degree of crop density</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	
	(ha)	(%)
< 0,5	1449	16,0
0,6 - 0,7	2809	31,0
> 0,8	4802	53,0

W 1993 roku rozpoczęto współpracę pomiędzy IGiK-OPOLIS, IBL i Laboratorium Teledetekcji i Urzędzenia Lasu z Uniwersytetu w Gandawie (Belgia) mającą na celu opracowanie systemu informacji przestrzennej dla pogorzeliska koło Kuźni Raciborskiej i otaczających go lasów. Obszar ten ma szczególne znaczenie dla silnie uprzemysłowionego i zanieczyszczonego regionu Górnośląskiego. Stanowił on naturalny filtr osłaniający aglomerację przed zanieczyszczeniami przemysłowymi. System informacyjny ma służyć monitorowaniu skutków pożaru i docelowo ma składać się z szeregu warstw obrazowych, które byłyby tworzone na podstawie archiwalnych map leśnych, glebowo-siedliskowych i topograficznych oraz archiwalnych i aktualnych zdjęć lotniczych i satelitarnych, a także numerycznego modelu

terenu. Natomiast w relacyjnej bazie danych, oprócz informacji o pożarach znajdują się opisy taksacyjne drzewostanów sprzed pożaru oraz bieżąco aktualizowane dane opisujące prace rekultywacyjne i wyniki monitorowania zmian w środowisku naturalnym.

Analiza dotychczas zgromadzonych danych pozwala na scharakteryzowanie pogorzelniska koło Kuźni Raciborskiej w różnych aspektach (tab. 2, 3, 4 i 5).

Ogólna strata masy drzewnej w wyniku tego pożaru wynosi około 1 360 000 m³, z czego na sosny przypada 93%, a na świerki i olchy po 3%. Analiza danych z wielu źródeł pozwoliła również oszacować straty finansowe spowodowane przez ten pożar, które wynoszą około 70 milionów USD. Są to straty nie tylko z tytułu spalonego drewna i przedwczesnego wyrębu, ale także koszty dogaszania pożaru, oczyszczenia i uporządkowania pożaryska.

Tabela 5

Struktura powierzchniowa pogorzelniska kompleksu leśnego koło Kuźni Raciborskiej, według siedlisk
Forest sites of Kuźnia Raciborska burned forest

Siedlisko <i>Forest site</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	
	(ha)	(%)
Bór suchy (Bs) <i>Dry coniferous forest</i>	54,0	0,6
Bór bagienny (Bb) <i>Marshy coniferous forest</i>	236,0	2,6
Bór mieszany świeży (BMśw) <i>Mixed fresh coniferous forest</i>	2265,0	25,0
Bór mieszany wilgotny (BMw) <i>Mixed humid coniferous forest</i>	4593,0	50,7
Bór mieszany bagienny (BMb) <i>Mixed marshy coniferous forest</i>	9,0	0,1
Las mieszany świeży (LMśw) <i>Mixed fresh forest</i>	471,0	5,2
Las mieszany (LM) <i>Mixed forest</i>	1287,0	14,2
Pozostałe <i>Other</i>	145,0	1,6

Jak wynika z zaprezentowanych przykładów dotychczasowe zastosowania teledetekcji satelitarnej i SIP w przeciwpożarowej ochronie lasu w Polsce, mimo że prowadzone w ograniczonym zakresie, wykazały użyteczność tych środków w bieżącej działalności gospodarczej leśnictwa. Docelowo planuje się powiązanie obrazowych warstw informacyjnych, obejmujących mapy leśne wzbogacone i aktualizowane na podstawie danych teledetekcyjnych oraz już istniejących relacyjnych baz danych, które opisują cechy taksacyjne poszczególnych drzewostanów, z systemem prognozowania zagrożenia pożarowego oraz systemem powiadamiania o wybuchu pożaru. Ten zbiór informacji, zgromadzony w przestrzennych i opisowych bazach danych, wzbogacony o modele rozprzestrzeniania się pożaru w różnych wa-

runkach przyrodniczych i przy różnych warunkach pogodowych, pozwoli na operacyjne stosowanie SIP w profilaktyce i zwalczaniu pożarów.

Literatura

- Arcybaszew E.C., 1983: *Forest fire and their control*. Oxonion, New Delhi.
- Calabri G., 1984: *La prevenzione degli incendi boschivi. I problemi e le tecniche della difesa*. Edagricole, Bologna.
- Chuvieco E., Congalton R.G., 1989: Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 29, No 2, str. 147-159.
- Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: *Teledetekcja satelitarna*. PWN, Warszawa.
- Ciołkosz A., Zawila-Niedźwiecki T., Bochenek Z., 1993: The application of ERS-1 images for forest damage assessment. *Proceedings of 2nd ERS-1 Symposium*, held in Hamburg, Germany, 11-14 October 1993.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1987: *Inferring evapotranspiration from remotely sensed thermal radiation data*. Australian National University, Canberra.
- Dąbrowska-Zielińska K., Gruszczyńska M., Lewiński S., 1991: From evapotranspiration to soil moisture — investigation based on NOAA thermal infrared data, case study — Poland. *Proceedings of 5th International Colloquium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, 14-18 January 1991, Courchevel, France.
- Dąbrowska-Zielińska K., Zawila-Niedźwiecki T., Gruszczyńska M., Janowska M., Stankiewicz K., 1993: *Opracowanie zdjęć satelitarnych w celu oszacowania ewapotranspiracji na podstawie temperatury radiacyjnej obliczonej z archiwalnych zdjęć NOAA i parametrów meteorologicznych*. Instytut Geodezji i Kartografii — OPOLIS, Warszawa.
- Karlikowski T., 1981: Określanie zagrożenia pożarowego lasu według metody IBL. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, Warszawa.
- Karlikowski T., 1992: *Ocena zagrożenia pożarowego w lasach*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Karlikowski T., Santorski Z., Przeciórka K., Walczak D., 1993: *Baza danych o pożarach*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Karlikowski T., Rzewuski T., Szczygieł R., 1993: *Badania nad dynamiką rozprzestrzeniania się pożaru lasu i metodami jego zwalczania*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Karlikowski T., Zawila-Niedźwiecki T., 1993: Remote Sensing and GIS in Fire Management of Polish Forests. *Proceedings of the International Workshop on Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management*, held in Thessaloniki, Greece, 4-6 November 1993.
- Robinson J.M., 1991: Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 12, No 1, str 3-24.
- Zawila-Niedźwiecki T., 1985: *Teledetekcja w przeciwpożarowej ochronie lasu. Biuletyn Informacyjny BOINTE*, Instytut Geodezji i Kartografii, Nr 6, str. 39-45.
- Zawila-Niedźwiecki T., Bochenek Z., Strzelecki P., 1994: *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych ERS-1 w inwentaryzacji szkód leśnych*. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, T. 41, z. 89, str 1-15.